

気候変動とエネルギー資源

松井正和*

はじめに

昨年9月1日に気象庁は昨夏8月の天候を発表した(日経9.12.2014)。昨年はエルニーニョ・南方振動の影響によるためか、夏の太平洋高気圧の強さが、あまり強くなく、一方で偏西風の蛇行による前線が停滞した。このため、昨夏の気候は記録的な不順をもたらした。

西日本の降水量は、広島市で近來まれな土砂災害に見舞われたように、太平洋側で平年に比べ、3.01倍で戦後統計を記録して以降最大であった。この現象は西日本だけでなく、東日本で44%、北日本でも63%増加している。

日照時間もこれらと相関して、西日本の太平洋側で観測史上最少の平年比54%減、日本海側も過去2番目の42%減であった。昨夏の気温も6-8月で平年より0.30℃低く、11年来の冷夏であった。

地球温暖化はIPCC(気候変動に関する政府間パネル)が2001年ホッケースティック曲線を示したことで、確実に進行していることを明らかにした。

一方で、気温はここ15年間殆んど変化しておらず、温暖化は一時停止していて、さらに20年以上継続するといった楽観論もある。しかし、これは極めて少数の政治的意見である。2009年12月にコペンハーゲンで行われた気候変動についての会議では、すでに海面上昇による深刻な事態に面している島嶼国はCO₂の排出量削減を訴えている。NASA(米国航空宇宙局)などの気象学者はCO₂を450ppm以下に

抑えるだけでは不十分で、地理学的に考えて350ppm以下に抑制する必要があると主張する。木材を燃料にして発電し、発生するCO₂を地下に貯留(CCS)する覚悟が必要であると言う。現状のまま推移すると、極地圏の氷床は溶け、今世紀中に海面を180cm、最終的には6m上昇し、世界の広大な沿岸域が海面下に水没すると考えられる。また、海面温度が上昇し、台風が巨大になり、降水も変動が激しくなる。温暖化が進むにつれて気候変動が激しくなると予測される。

地球温暖化の予測、影響などは勿論不確実性があることは事実であり、これらのうち人間活動による割合や、これらによる影響を定量的に予測することはできない。しかし、多くのリスクを負うことは明確である。

1. 気候変動

1.1 過去の気候変動

気温が全球的に直接測定され始めてから、百数十年程度に過ぎない。これまでの気温は1900~1940年頃までは穏やかに上昇し、1970年過ぎまでは、あまり変化していないが、それ以降はかなりの勾配で上がっている。2007年に報告されたIPCCの第4次評価報告書では、1906~2005年の100年間の上昇率を0.74℃(信頼区間0.56~0.96℃)としている。これらの気象観測は全球的に温度計を用いた観測値であるが、19世紀中ごろまでは、その時代を反映する指標を集計して推定せねばならない。木の年

*京都大学名誉教授

輪、珊瑚年輪や極地の氷床に含まれる酸素同位体の変化などを用いて、全球的につなぎ合わせている。

最近の気候変動は産業革命以後の現象であるかどうかは明確に言えない。人類の歴史が始まって以来でも多くの気候変動があった。最後の氷期以降の現在（完新世）の後氷期に入っても気候変動は続いている。中世に温暖期が存在することは英国のヒューバート・ラムによって推定されている。中世の気候は木の年輪や珊瑚の年輪、極地の氷床に含まれる酸素の同位体比などから推定される。20世紀を境にして、それまで1200年間は若干の変動しか示していず、昇温の傾向は少ないが、20世紀後半以降は急激に上昇している。これは過去千数百年経験しなかった変化である。

1.2 氷床コア試料による気候変動

中期的な気候変動を示す例として42万年前までの南極ポストーク基地で採取された氷床コア中のCO₂濃度や気温のデータがある。ドームC基地ではさらに古い80万年前までさかのぼって解析された。CO₂濃度は氷床中に含まれる量から測定され、温度変化は酸素同位体比¹⁸O/¹⁶Oから決定する。H₂Oは¹⁸OなどやH、Dの同位体が混在し、軽い同位体を含む水蒸気は熱帯で蒸発する時に多く含まれて高緯度に運ばれ、水蒸気中の重い同位体は雨や雪となる時、濃縮される。したがって、全体として高緯度の寒冷な地域に水分子の中の軽い同位体が増加する。よって南極氷床コアにおけるCO₂濃度と気温の上昇の間に高い相関性がある。その変化はミランコビッチによって、1930年に提唱された気候変動が約10万年の周期で起きるといふ説によく合致している。

グリーンランドにおける氷床コアの研究は、

南極圏より古くから多くの研究がなされている。グリーンランドの氷床コアは南極と同様の10万年周期の氷期—間氷期サイクルの気候変動が生じている。しかし、堆雪速度が速く、時間分解能が高いため、より短い期間の変化も観察できる。これらにより、前の最終氷期が終了した後の1万年間間氷期は安定した気候であった。しかし、最終氷期から現在の間氷期への移行期に、ヤングドレイアス期と呼ばれる一時的な寒冷期（1.29~1.17万年前）があり、その前後に急激な温暖化が2回（1.47万年と1.17万年）生じている。この温暖化は1回目が3年間、2回目が50~60年間という短期間に10℃も気温が上昇している。

1.3 気候変動の現状

現代でも人類が現状のように、化石燃料を利用し続けると、太古の気候変化が再び訪れる心配がある。現在までに既に地球の平均気温は1℃近く上昇している。極地では上昇気温はその倍以上になっている。前の氷河期末では南極やグリーンランドの氷床の融解により、100年に1mのスピードで海面が上昇している。

気候変動は緩やかに生じていない。かなりの変動を生じながら、例えば極地の氷床を増減させてきている。

約5600万年前、大気中に地球温暖化ガスが放出され、数千年間に気温が5℃上昇した、いわゆる暁新世（6500万年~5500万年前）/始新世（5500万年~3800万年前）温暖化極大期（PETM）といわれる年代である。一部の深海では酸性化とともに酸素欠乏が生じて、多くの生物が死滅した。もとの気候に戻るまで20万年を要した。

過去の温暖化と現代の温暖化の間に大きな相違点がある。過去の温暖化ガスの放出速度と現

代とでは比較にならないほど現代の方が急速である。白亜紀の温暖化は数百万年に亘っており、PETM（暁新世—始新世温暖化極大期）でも2万年に亘って続いていた。PETMにおけるガスの年間排出量は20億トン以下であり、現代の大気中のCO₂濃度はこれらに比べて10倍のスピードで上昇している。以前、PETMは地球史上最も速い温暖化と考えられていた。極地に向かって大移動して生存した動物や地下に潜って生活して生きのびた種もあった。しかし、多くの種は絶滅した。

2008年の米大統領選挙でオバマ大統領は地球温暖化について訴えたが、最近になって、ようやく積極的な態度を取り始めた。過去数年の異常気象による、カリフォルニア州では、近年観察されなかった旱魃に襲われ、トウモロコシなど農業生産に被害を受けている。また、南極やグリーンランドの氷床が融けて、海水面の上昇が観察された。オバマ大統領は今年パリで開催されるCOP21で2℃シナリオの維持を目指すトマスコミに語っている。気温上昇が2℃を超えると、地球に多くの脅威が訪れる。現在生じている0.8℃の上昇でも、すでに異変が生じている。2003年にヨーロッパを襲った熱波は人為的な気候温暖化によることが確実視されている。2010年ロシアが、2012年にはアメリカ中西部で記録的な猛暑に見舞われている。日本は食料の60%を輸入に依存している。2℃の気温上昇はコメの国内生産に影響を与えるだけでなく、外国からの食糧輸入も困難になると考えられる。

2℃の気温上昇は食料不足や、これに伴う飢饉だけでなく、洪水・水資源の枯渇・海面上昇、蚊などの害虫の大量発生による伝染病の蔓延などが心配される。これら気候変動が引き金となって武力衝突が生じる可能性も否定できない。

1.4 再生可能エネルギー

当初再生可能エネルギーが提唱された1970年代では2000年までに全エネルギーの1/3がこれで賄われると予想し、また2008年ゴア元米副大統領は再生可能エネルギーが低コストとなり、わずか10年間で全米の電力のほとんどを切り替えることができると表明した。また、2014年8月号の一般科学雑誌ニュートンは、クリーンで無尽蔵の新エネルギーの特集を組んでいる。

しかし、1990年から2012年まで、世界で消費するエネルギーのうち化石燃料の占める割合は88%から1%低下したに過ぎない。その他のエネルギーのほとんどは水力発電であり、バイオマスエネルギーといっても廃材といった古くから使用された木材によるエネルギーである。

石炭・石油などの化石燃料はやがて枯渇する。大量のCO₂の排出は地球温暖化をもたらし、原子力発電は不安と核燃料処理などの問題を抱える。再生可能エネルギーは、これらの救世主としての期待が高まっている。しかし、水力などの旧来の再生可能エネルギーへの余力はあまり期待できず、風力・太陽光・バイオ燃料などの新エネルギーは想定通りに成長していない。再生可能エネルギーの低コスト化とともに、エネルギー効率の向上と省エネルギーに期待する以外に他の方法はない。

2. エネルギー資源について

2014年6月原油価格（West Texas Intermediate）がバーレル100ドル以上していたが、昨年末では54ドル近辺に低迷している。原油価格の低下は世界のエネルギー関連の株価を大きく下げ、シェール企業の格付けも低くなった。特に、資源力の乏しい中小シェール企業は社債や借入れへの依存が大きく、信用力の

低下に伴い新規の借入れが難しくなり、シェアの開発が困難になっている。

2015年はエネルギー資源としての水素元年といえるかも知れない。経済産業省も電源構成の多様化の一つとして燃料電池を取り上げ、2015年度概算要求には水素関連のみで、400億円余り、燃料電池車（Fuel Cell Vehicle: FCV）や他のエコカーの補助に300億円も予算を付けている。FCVを一台購入するごとに200万円の補助金が出ており、他の普通車の価額に匹敵する。これは水素が新たな基幹エネルギーの一つとして浮上してきたことを示し、水素社会のはじまりと言える。

2.1 燃料電池車（Fuel Cell Vehicle: FCV）

燃料電池車（FCV）は、タンクに充填した水素を酸素と反応させて作り出す電気でモーターを回して走る一種の電気自動車である。トヨタは昨年末に世界で初めての市販車「ミライ」を発表した。ホンダも2015年度中に投入すると発表している。ただ燃料となる水素を供給できるスタンドが、まだ僅かであり、今後これらのインフラの整備が最大の課題である。

FCVは当然のことながら、走行時に水しか生成しないから、究極のエコカーと呼ばれる。FCVは燃料となる水素をガソリンスタンドではなく、水素ステーションで補充する。トヨタのFCVは航続距離700kmあり、補助金を除いた負担額は500万円で、国内の高級自動車程度の価額となる。FCVは1997年に発売されたハイブリッド車とは異なり、全く新しいタイプの車である。政府もエネルギー政策の一つとして水素エネルギーへのシフトに力を入れている。中でもトヨタはFCVをはじめ、水素ステーションの設置、家庭用・業務用燃料電池の普及、安価で安定的な燃料供給などを推進している。

トヨタがFCVに将来をかける意気込みは燃料電池（FC）開発部に約300人、FCV製作の開発技術部に約300人など、コアな開発要員だけで1,000人以上、その他技術統括部、生産、渉外等、社内の人間だけでも膨大になる。ホンダや日産もFCVの開発を進めているが、遠く及ばないのが現状である。

世界のエコカーのもう一つに電気自動車（Electric Vehicle: EV）がある。EVは日産などのメーカーも以前から開発しているが、一回の充電により走行できる距離が短く、蓄電池の大容量化が課題となっている。

自動車排気ガスによる環境規制が厳格化されている。それと共にエネルギー源もガソリンから電気、燃料電池へと変革している。現時点では車の電動化が進むのは確定的で、その第一段階として、EVが開発されている。しかし、長距離走行距離が要求される諸外国の事情から、蓄電池の容量では不足である。そこで、水素と酸素との反応を利用する燃料電池が注目されたが、これには水素を補給する水素ステーションを現在のガソリンスタンド並みに設置する必要がある。しかし、現状の水素は0℃1気圧1立方メートル当たり120円でガソリンの約2倍である。しかも全国で稼働している水素ステーションは13カ所にすぎず、実際に商用に稼働しているのは、わずか1カ所である。

FCVの普及が遅々として進まないのは水素ステーションが普及しないためである。水素は周知のように、酸素と爆発し易く、設置規制が厳しい。そのため、ステーション建設には4~5億円を要し、ガソリンスタンドが1億円以下に比べ高額となる。FCV発売にトヨタ始め各社が開発を急ぐのは、日米欧で強化される自動車の環境規制に起因する。米カリフォルニア州のZEV（zero-emission vehicle）規制で2017~25

年には同州で販売される新車のうち、EV・プラグインハイブリッド車・FCVが15%以上占めることを要求している。この中でFCVが次世代車の本命であり、各社が合従連衡を進めようとしている。

2.2 エネルギーとしての水素革命

昨年4月に発表されたエネルギー基本計画に水素が盛り込まれたことで、新エネルギーの主役としてにわかに注目をあびている。水素は酸素と反応して水のみ排出する究極のクリーンエネルギーと言われている。しかし、その製造方法によってクリーンとは言えない。水素の製造方法は主に4種類の方法があるが、主流は石油・石炭・天然ガスといった化石燃料を改質したものである。バイオマスからメタノールなど

を作り、改質して水素を製造する方法はCO₂を排出しない（カーボンニュートラル）。

また、水素は太陽光などの自然エネルギーから得た電気を用いて水を電気分解しても得られる。しかし、このような再生可能な水素製造はコストが高く、実用的でない。

再生可能エネルギーには、一般水力、太陽光（住宅、メガソーラー）、風力（陸上、洋上）、地熱、バイオマスなどがあるが、現在これらの新エネルギーの電源構成に占める割合は1割にすぎない。政府のエネルギー基本計画では2割という意欲的な目標を立てている。昨年9月24日、突然、九州電力が太陽光、風力の固定買取制度（FIT）による契約を打ち切ったように、なかなか新エネルギーへの転換は進まないのが現状である。